Discurso de investidura como Doctor Honoris Causa del Profesor Doctor D. Enrique Alarcón

Nombrado Doctor Honoris Causa en el acto del día de la Universidad del curso 03/04

Excmo. Sr. Rector Magnífico
Excmas. e Ilmas autoridades
Miembros del Claustro Universitario
Señoras y Señores

Sean mis primeras palabras de agradecimiento a la Universidad Carlos III y en particular a los Departamentos de Mecánica de los Medios Continuos y de Matemáticas por el honor concedido al otorgarme el grado de Doctor. Honor debido, más que a méritos propios, a la amistad con que siempre me han distinguido el equipo rectoral, y los compañeros de los Departamentos citados especialmente los profesores Carlos Navarro y Francisco Marcellán con los que he tenido la fortuna de compartir ideales de enseñanza e investigación.

La Universidad Carlos III fue creada en un esfuerzo por redistribuir los nuevos núcleos culturales en zonas tradicionalmente utilizadas como ciudades-dormitorio, contribuir a su desarrollo, descentralizar los focos de saber establecidos y provocar la competencia intelectual mediante la incorporación de profesores jóvenes y en posesión de experiencia internacional. Todo lo ha cumplido con exceso en las diferentes ramas del saber a que se dedica y ello, unido a una intensa actividad cultural paralela, la ha transformado en uno de los polos más atractivos para la juventud estudiosa y el mundo científico de la Comunidad de Madrid.

En la medida de mis posibilidades y desde su fundación he colaborado con la Universidad en la búsqueda de profesores adecuados y en el análisis de la evolución de sus grupos de ingeniería. Si antes la motivación estribaba en la curiosidad intelectual ante una experiencia tan interesante como el desarrollo ex novo de una Universidad, ahora mi interés estará reforzado por el agradecimiento a esta distinción y por la deuda de gratitud a la que sólo puedo corresponder ofreciendo públicamente mi disponibilidad a colaborar con aquélla en lo que se considere pueda ser útil.

Los dos Departamentos que patrocinan el nombramiento se ocupan de ciencias básicas que siempre llamaron mi atención mientras estudiaba en la Escuela de Caminos, donde el gusto por las Matemáticas era una seña de identidad y la Mecánica de los Medios Continuos la dorsal sobre la que se articulaba la componente científica de nuestra carrera. De hecho siendo estudiante de tercer curso comencé a dar clase como ayudante de prácticas en la asignatura de Ecuaciones Diferenciales que impartía el profesor Alberto Dou y, tan pronto como acabé los estudios, me incorporé al grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales a cargo del profesor Carlos Benito, simultaneando la vida como ingeniero con la enseñanza.

El famoso matemático inglés Harold Hardy(1) dice que la justificación de la existencia estriba en dedicarse a aquello que uno sepa hacer bien con independencia de que el trabajo sirva para algo; acto seguido añade que el problema es que la mayoría de la gente es incapaz de hacer nada bien, una minoría es capaz de hacer bien sólo una cosa y que el número de personas que son capaces de hacer dos cosas bien tiene medida nula.

En aquélla época yo no había leído la “Apología” de Hardy, pero ocho años después de intentar hacer bien mis trabajos como ingeniero y como profesor experimenté la veracidad de su aserto en mis propias carnes y por ello decidí renunciar a la actividad directa, y volcarme en los temas de enseñanza, investigación y transferencia de tecnología incorporándome a la Universidad.

No tengo la seguridad de haber sido suficientemente bueno en ello pero por lo menos estoy satisfecho de haber contribuido a la formación de un grupo de profesores excepcionales que ahora lideran la investigación de la Mecánica de los Medios Continuos a nivel internacional y con los que fui capaz de trabajar a, casi su mismo nivel, cuando estaban llevando a cabo sus primeras investigaciones.

Puesto que Matemáticas y Mecánica de los Medios Continuos son los Departamentos que me proponen voy a dedicar algunos comentarios a la relación que yo veo entre ambas materias.

Respecto a la Mecánica de los Medios Continuos, a la que los autores italianos llaman "Ciencia del ingeniero", posiblemente la definición más compacta sea el título de un libro cuya lectura les recomiendo, "Por qué las construcciones no se caen(2)" y entre las "construcciones" del título están los edificios, los puentes, los aviones, etc. Debido al éxito que tuvo la obra y quizá también a la maldad que todos ustedes están pensado, el mismo autor escribió una segunda parte titulada "Por qué se caen las construcciones(3) ". Y, quisiera poner el acento en esta doble capacidad de la Mecánica de los Medios Continuos como instrumento para proyectar artefactos que funcionen y para analizar las causas que provocan los accidentes. Síntesis y análisis que sólo son posibles si se aplica el famoso lema de la Real Academia de Ciencias "Observación y Cálculo". En Ingeniería estas actividades constituyen la primera parte de una sucesión que define muy bien nuestra actividad: Medición experimental, interpretación mediante modelos abstractos, fabricación del artefacto, gestión de la producción y compromiso ético con el medio ambiente, la seguridad, etc.

Creo que ahora queda clara la relación entre los dos Departamentos que me proponen: la necesidad de modelos abstractos para interpretar fenómenos físicos sólo es posible gracias a las matemáticas lo que implica un conocimiento mutuo y un trabajo en equipo.

Ello no ha evitado algunos desencuentros que se han producido, se producen y se producirán entre científicos e ingenieros.

Se dice, por ejemplo, que Thomas Telford el inventor de los puentes colgantes y padre de la ingeniería civil inglesa, rechazaba sistemáticamente a todos los aspirantes a entrar en su empresa que contestaban afirmativamente cuando se les preguntaba si eran buenos en matemáticas.

De todos es conocido también el tremendo disgusto y desilusión de Albert Einstein cuando su primogénito decidió dedicarse a la ingeniería civil.

Quizá la repulsión mútua venga de la diferente forma de aproximación a los temas. En ingeniería sabemos que nuestros paradigmas son efímeros y que nuestro desconocimiento puede ser puesto de manifiesto por la naturaleza en cualquier momento, como se encargan de recordarnos accidentes espectaculares. Por contra, como dijo David Hilbert en el Congreso Internacional de Matemáticas de 1900 "en las matemáticas no hay ignorabimus. Debemos saber y sabremos".
El ingeniero, sin embargo, no puede esperar. Debe finalizar su artefacto tomando decisiones a partir de datos incompletos e intenta reducir los riesgos aplicando los conocimientos de la ciencia positiva y recopilando éxitos y fracasos en normas de buena práctica con objeto de conseguir el bienestar que, según Ortega, "es la necesidad fundamental para el hombre, la necesidad de las necesidades –Hombre, técnica y bienestar son en última instancia, sinónimos(4)" . Por eso, el lema de la Real Academia de Ingeniería es "Ciencia e ingenio para el hombre".

Citados los desencuentros quisiera ahora comentar algunas ocasiones gloriosas de relación fructífera entre matemáticas y mecánica del continuo.

Para ello no tengo más remedio que hablar de los entes de razón que manejamos y con el fin de evitar que el auditorio con formación humanística se desconecte, les propongo el análisis de una experiencia intelectual que todos hemos vivido: la terrible venganza de Ulises al llegar a Ítaca y encontrarse a los pretendientes de Penélope, venganza inspirada por "Atenea, la diosa ojizarca" y basada en el uso del "arco flexible y la aljaba bien capaz con su gran multitud de gimientes saetas" " .... señal de matanza ..." como canta Homero.

La tensión creciente en el Canto XXI de la Odisea está basada en el funcionamiento impecable de un artefacto, el arco, y de él vamos a extraer algunas denominaciones que utilizamos en nuestro trabajo.

El arquero toma el arco firmemente con una mano y con la otra tensa la cuerda y contiene la flecha separándola todo lo que le permite su fuerza y la longitud de su brazo. Aquí aparecen ya dos grandes campos de naturaleza distinta. Por un lado están los desplazamientos del arco y de la cuerda que podríamos describir mediante su geometría, y por otro la fuerza que hace el arquero oponiéndose a la del arco; en este caso la situación puede describirse hablando de equilibrio. Además los desplazamientos del arco están obligados a cumplir ciertas condiciones. Por ejemplo podría decirse que son nulos en la mano que sujeta el arco y tienen un valor dado, correspondiente al recorrido que hayamos sido capaces de imponer a la cuerda, en la mano que sujeta la flecha. Son lo que llamamos condiciones de contorno de los desplazamientos. Además cuerda y arco comparten el mismo desplazamiento en los puntos de anclaje. Describimos en lenguaje matemático estos temas diciendo que los campos de desplazamientos y las deformaciones del arco y la cuerda deben ser compatibles y congruentes con las condiciones de contorno.

Equilibrio y compatibilidad son pues las dos líneas maestras de razonamiento. Pero no es lo mismo la fuerza necesaria para tensar el arco de caña con que todos jugamos de pequeños que la que se precisa para hacer lo mismo con un arco de acero o con los complicados arcos de múltiples materiales de los concursos profesionales actuales.

La flexibilidad a que hace referencia el verso onceno depende del material y es la clave que permite relacionar las fuerzas con los desplazamientos. A esa relación la llamamos ley de comportamiento del material.

Si el análisis de la geometría de la deformación puede remontarse a Euclides unos 300 años a. C, para tener un arma que exprese el equilibrio hay que llegar 50 años después a Arquímedes y su ley de la palanca, y no se habla de leyes de comportamiento hasta 2000 años después cuando en 1691 Hooke publica su famosa ley que en versión original era "ceiiinosssttuv" y una vez resuelto el acertijo (consistente en poner las letras en orden alfabético) "ut tensio sic vis" es decir "la extensión es proporcional a la fuerza".

Así pues, hasta casi comienzos del S. XVIII no se sabe cómo relacionar cargas y desplazamientos a través de la naturaleza del material. El propio Galileo, cuando escribe su "Diálogo de las dos nuevas ciencias", una de las cuales es precisamente la Resistencia de Materiales, sólo utiliza el principio de la palanca para interpretar la rotura de una viga en voladizo y el sentido común para justificar la influencia de los asientos diferenciales en la rotura de columnas almacenadas en horizontal y sujetas en más de dos apoyos.

Pero ¿qué tenía de especial el arco de Ulises "llevado de antiguo por Éurito el grande"?. Ni siquiera Telémaco, el heredero, es capaz de hacerlo funcionar. El arco, al parecer, era un obsequio de Apolo a Éurito y forma parte de una de las historias más negras de Heracles. Pero lo que nos interesa a nosotros está descrito con una sola palabra en el verso 59 donde se dice que el arco era "palíntonon" que José Manuel Pabón traduce como retráctil.

La mayoría de los lectores, yo entre ellos, han pasado continuamente por este verso sin asimilar cabalmente lo que se está diciendo. Conviene recordar que el arco se guardaba separado de la cuerda y en ese estado que pudiéramos llamar de "reposo" tenía la curvatura invertida(5) , es decir en lugar de presentar la concavidad a los ojos del arquero presentaba convexidad.

La primera labor del tirador consistía en tender la cuerda forzando la curvatura del arco en sentido contrario. Ello se aclara en los versos 405 a 411: "... Bien así como un hombre
perito en la lira y el canto
tiende el nervio que estrena
arrollándose en una clavija sin esfuerzo,
ya atada en sus cabos la tripa ovejuna retorcida y sutil,
con igual suavidad allá Ulises su gran arco tendió; por su diestra probada, la cuerda resonó claro y bien como pío que da golondrina ...".

No es pues en el disparo donde fallan los aspirantes a Penélope sino en el proceso de pretensión consistente en obligar, como decíamos antes, las condiciones de compatibilidad entre el arco y la cuerda. "Ni uno sólo mostróse capaz de tenderle a aquél arco poderoso la cuerda" explica en el verso 170 del Canto XXIV Anfimedonte cuando ya en el Hades intenta contarle a la sombra de Agamenón lo sucedido.

Podemos encontrar un paralelo en los modernos puentes de hormigón pretensado, donde cables ocultos en la masa de hormigón y convenientemente tensados, permite reducir dimensiones y salvar luces impensables con la construcción clásica.

El verso 245 introduce otro fenómeno interesante: Eurímaco antes de aplicar la fuerza bruta intenta un truco distinto dando "en sus manos cien vueltas al arco calentándolo al fuego de un lado y otro" idea que me permite hablarles de la importancia de fenómenos que no son puramente cargas sino debidos al ambiente: las dilataciones y contracciones de las estructuras, por efectos térmicos, los empujes del viento, la retracción y la fluencia, etc, que han ido conociéndose a lo largo de la historia y en la que figuran nombres de matemáticos como Airy, Neumann, Von Mises, etc.

El proceso de autotensión mutua entre arco y cuerda explica la enorme fuerza que era preciso desarrollar para montar el arma, fuerza que el arco devolvía, gracias a su elasticidad, durante el disparo.
El efecto es semejante al que consiguen las pértigas que se utilizan actualmente en las competiciones olímpicas. La grandísima deformación de la vara dispara literalmente al saltador hacia arriba lo que ha cambiado la técnica del salto e incrementado las marcas que se conseguían con las primitivas pértigas, prácticamente indeformables en comparación con las actuales.

El estudio de las grandes deformaciones de las piezas elásticas comenzó con Euler (1707-1783) quien comparte con Gauss la cima de las matemáticas y que, junto con su amigo Daniel Bernoulli (1700-1782), inventó a mediados del siglo XVIII las ecuaciones en derivadas parciales intentando comprender el curioso fenómeno del sonido generado por vibraciones como las que provocó Ulises al probar la cuerda de su arco.

Tanto Euler como Bernoulli se beneficiaron de la formulación del llamado principio de los trabajos virtuales (que podría describirse como la ley de la palanca elástica), que forma la base de la teoría actual de mecánica de los medios continuos y que los matemáticos, con el nombre de formulación débil, utilizan tanto para matemática aplicada como para desarrollos teóricos.

El principio había sido inventado alrededor de 1717 por Juan Bernoulli (1667-1748), padre de Daniel, que junto con su hermano Santiago, es una figura clave en el desarrollo del cálculo infinitesimal y estaba considerado como el mejor matemático de su tiempo.

Era una época en que los matemáticos buscaban la motivación en problemas ingenieriles y no consideraban que ello fuera ningún desdoro como parece suceder ahora en algunos ámbitos fundamentalistas.

Dirán ustedes que puede que así fuera pero que las catedrales las seguían haciendo personas que despreciaban la ciencia y sólo se basaban en la experiencia.

Hay ejemplos, sin embargo, que matizan una afirmación tan fuerte. Las obras matemáticas de Arquímedes nos han llegado gracias a Isidoro de Mileto y Antemio de Tralles arquitectos de la monumental estructura de Santa Sofía en Constantinopla, aunque es cierto que la mayoría de las reglas relativas a las construcciones medievales son recetas para resolver los problemas planteados con los números irracionales y las medidas con las que había que cortar las piedras. No me resisto a recordar a Guillermo Gil de Hontañón del que se conserva uno de los pocos manuscritos pre-científicos (1577) utilizados por los gremios.

El punto de inflexión se produce en 1742 cuando tres matemáticos Le Seur, Jacquier y Boscovich se atreven a desafiar a las asociaciones de constructores y presentan un análisis sobre la estabilidad de la cúpula del Vaticano interpretando las fisuras aparecidas como manifestaciones del movimiento de piezas rígidas articuladas a las que aplicaban el principio de los trabajos virtuales de Juan Bernoulli.

La batida definitiva del péndulo llega cincuenta años después cuando durante la Revolución francesa, La Convención encarga en 1794 a Lázaro Carnot y Gaspar Monge (1746-1818) la creación de la Ecole Polytechnique. De nuevo dos matemáticos en el punto crítico de la reforma de la enseñanza y de los conceptos en ingeniería transformando la Escuela desde organización gremial en centro de cultura superior.

No es extraño que en un lugar donde daban clase Laplace, Lagrange y Fourier y donde el plan de estudios se basaba en las matemáticas, la física y la mecánica se produjeran alumnos como Poisson, Gay-Lussac, Arago, Navier y Cauchy.

Entre ellos quiero hablar precisamente de Cauchy no sólo por que representa la introducción del rigor en las matemáticas si no por que a partir de él comienza la Mecánica de los Medios Continuos moderna con su invención de las tensiones, fuerzas internas por unidad de superficie, en cuyo honor Woldemar Voigt en 1910 denominó "cálculo tensorial" al estudio por él desarrollado.

Quisiera también aprovechar la vida de Cauchy para extraer una conclusión consoladora para mis compañeros de profesión: a la opinión de los estudiantes y de algunos colegas hay que darles solamente el valor que tienen. Cauchy como saben fue abucheado en clase en alguna ocasión, lo que en una escuela militarizada pueden imaginar el trauma que supuso. Por otro lado parte del claustro de la Escuela atacó los métodos que utilizaba Cauchy en su obra magistral, el Análisis Algebraico, que explicaba en clase recomendándole repetidamente que utilizase el viejo método de los infinitesimales que era según ellos la auténtica "matemática útil". "A decir verdad los métodos (de Cauchy) carecen de rigor y no son utilizables en aplicaciones" decía el Conseil d'Instruction en una de sus argumentaciones(6) .

¿No les es familiar el razonamiento?. Estamos cansados de oír en los claustros que el enfoque actual de la matemática no sirve para los ingenieros y que hay que enseñar, ¡oh venganza de los tiempos!, los métodos del siglo XIX encabezados por Cauchy.

Y puesto que estamos sacando conclusiones de acontecimientos históricos quiero apuntar otro hecho importante en aquéllas fechas, la fundación en 1809 de la Universidad de Berlín donde a instancias de Guillermo Von Humboldt (1767-1835), hermano del famoso naturalista, se establece por primera vez que la universidad es un lugar donde además de enseñar, tanto estudiantes como profesores, deben investigar y que el objetivo de ello no es tanto la producción de saber como la creación de un hábito de pensamiento original, claro, amplio e inquisitivo.
La revolución del método de enseñanza promovido por la Politécnica y la introducción en la Universidad de Berlín de la investigación, que hasta entonces se había centrado en las Academias y en las Sociedades ilustradas, se vio completada de forma natural por el apoyo a los desarrollos industriales. La materialización más espectacular de esta idea en Europa se debe a un gran matemático, Félix Klein, que trabajaba en Gotinga donde Gauss había dejado su impronta de matemático que no despreciaba las aplicaciones.

Aunque Klein ya había dado muestras de este mismo espíritu, su fe se ve acrecentada tras visitar la exposición Internacional de Chicago de 1893 y comprobar la interconexión que había en USA entre Industria y Universidad. A su vuelta consiguió la creación en Gotinga del Instituto para investigaciones hidrodinámicas y aeronáuticas que puso a las órdenes de Prandtl y Runge a quienes se debe el éxito de la investigación, el avance de la Mecánica de los Medios Continuos y el ejemplo para el resto de las Naciones.

Para comprender el impacto de los Institutos alemanes en el resto de los investigadores basta leer las impresiones de Cajal que, aprovechando el Congreso de Berlín de 1889, e invitado por Krause visitó Gotinga(7) y estudió la organización de su Universidad. En estos tiempos de cambio no me resisto a reproducir uno de sus ácidos comentarios: "¡Supresión de exámenes, autonomía universitaria, retribución por los alumnos, ingreso sin oposición y sin concurso y, frecuentemente, por una especie de contrata! ... He aquí un conjunto de reformas admirables que, aplicadas a España, país clásico de la rutina y el favoritismo nos harían retroceder antes de diez años al estado salvaje".

Volviendo a Klein de él surge también una línea en Mecánica de los Medios Continuos que llega hasta hoy: los principios variacionales multicampo que comienzan con la tesis doctoral de Max Born en 1906 y siguen con los desarrollos posteriores de Hellinger, Reissner, Washizu, etc., hasta llegar a nuestros días con, por ejemplo, Carlos Felippa.

No puedo extenderme más. La aparición de una nueva herramienta, la computadora, ha generado desde mediados del siglo pasado un nuevo campo de actuación para los especialistas en Mecánica de los Medios Continuos y para los matemáticos que no desprecian las aplicaciones, lo que ha permitido desarrollar formulaciones muy generales. Ello implica para el especialista en Mecánica de los Medios Continuos la capacidad de afrontar problemas complejísimos y, dada la rapidez de cálculo de las máquinas actuales, adquirir mayor experiencia con modelos abstractos y con ello incrementar su intuición mecánica. Por eso los métodos matemáticos se han transformado en un arma de uso cotidiano en ingeniería.

Una buena formación en matemática actual es básica si se quiere comprender mínimamente lo que se está haciendo en la Mecánica de los Medios Continuos y una etapa larga y rigurosa de investigación imprescindible si se desea hacer aportaciones al tema.

En cualquier caso está abierto un campo de actuación multidisciplinar que debería servir de estímulo a la creatividad de educadores, investigadores y profesionales de la ciencia y la tecnología.

En fin, teniendo en cuenta la habilidad legendaria de los feacios para navegar y las tormentas que esta Universidad ha debido superar hasta hoy, puede ser procedente que termine repitiendo las palabras de despedida que "Ulises mañero" dirige a aquéllos y a su rey Alcínoo cuando lo ayudan en su regreso a Ítaca.

"Prez y honor de tus gentes, ..., señor poderoso, conducidme en seguro después de libar y quedaos con salud, que cumplido está ya cuanto ansiaba mi alma; ...; y vosotros que quedáis en tierra ... sed el contento de los vuestros, mujeres e hijos; los dioses ventura os concedan completa y no venga desgracia a este pueblo".

He dicho

---

(1) G. H. Hardy: "A mathematician's apology". Cambridge U. P. 1967
(2) Mario Salvadori: "Why buildings stand up". Norton 1980
(3) Matthy Levy and Mario Salvadori: "Why buildings fall down" Norton 1992
(4) J. Ortega y Gasset: "Meditación de la Técnica". Austral. Espasa Calpe 1965
(5) J. E. Gordon. "Satructures" Da capo Press Inc 1978
(6) Bruno Belhoste: "Agustín-Louis Cauchy. A biography". Springer 1991
(7) Santiago Ramón y Cajal: "Historia de mi labor científica". Alianza Univ. 1981